

ロゼッタストーンと救世主

兵どもが夢の跡

名古屋から車で約一時間。岐阜県土岐市は、私が携わった探査機「はやぶさ」にとって、技術開発を行った懐かしい場所である。小惑星イトカワへの着陸目標として、ターゲットマーカーを小惑星表面に放出するのだが、重力が非常に小さいために、バウンドしただけで止まらない。バウンドしない玉をつくるのが課題だった。土岐には、ウラン鉱山の立坑を利用した落下塔、無重量実験施設があり、それを使って、試行錯誤でバウンドしないマーカーの開発が行われていた。

今回、出かけてみて、驚いた。当時はMGLAB（日本無重量総合研究所）というゲートから入ったので気づかなかったが、そこはまさに東濃鉱山そのものだった。鉱山側のゲートを通らずに入っていたので気づかなかった。ただだった。

兵どもが夢の跡。かつての実験棟は取り壊され、更地になっていた。東濃には岡山県人形峠を超える埋蔵量のウランがあり、東濃鉱山の月吉鉱床は国内最大である。もっとも国内埋蔵量は全て動員しても国内需要の一年分



原子力発電の使用済燃料を再処理して残る高レベル放射性廃棄物の地層処分技術の確立に向け、東濃地科学センターでは地層科学研究を行っている。地下の地質構造、地下水の流れや水質の変化、また断層運動や火山活動に関連した研究を行うにあたっては、地下水の滞留年代や地層の形成年代に関する調査技術が不可欠。このため、土岐市のセンター内にペレトロン年代測定装置を導入し、実際に年代測定を行うとともにその技術開発を進めている。



▶東濃地科学センター 鉱山措置・施設管理課の花木達美課長の案内で、MGLABの跡に立つ



東濃鉱山。1972年からウラン鉱床の形態や鉱石分布状況を明らかにする目的で坑道を掘削。86年から地層科学研究の場として「岩盤中の物質移動に関する研究」等を実施したが、所期の目的を達成したことから2004年に研究終了。現在は閉山措置を進めている。同時にこの地には宇宙研究開発に関わる微小重力落下実験設備が運用されていたが、「きぼう」の完成等により落下実験のニーズが減少したため2010年に終了した。



▲ペレトロン年代測定装置の心臓部である加速器タンク。500万ボルト程度の電圧でイオンを加速し、いろいろな核種の超高感度の質量分析を可能にする



にしか満たないということで、国内での開発には至らなかった。閉山に向けて肅々と作業が進む現状に、MGLABの跡も重なり、少々寂しい思いをした。

東濃の深地下にて

今、日本では高レベル放射性廃棄物を地層処分にする検討、研究が行われている。

日本原子力研究開発機構・東濃地科学センターでは、主に花崗岩を対象として、岩盤の強さ、地下水の流れ、水質などを調べたり、実際に地下に研究坑道を掘削して研究を行っている。また、ペレトロンという加速器質量分析装置を用いて炭素14の量比を計測して、地層や地下水の年代測定をしている。

元副所長をされておられた福島さんに、瑞浪超深地層研究所の地下三〇〇mへのご案内をいただいた。堂々とした体格に、装備がよくフィットしている。

ウランは実は、星、恒星では自然には合成されることのない元素だ。大質量の恒星が最期に放つ大爆発・超新星爆発でしかつくられない。だから、地球も太陽系も、かつて存在した別の太陽系の残骸でできていることになる。かの天体でも放射性廃棄物処分に困ったかもしれない。半減期が約二万年というプルトニウム241の安全性が確実になるには、実に数十万年から一〇〇万年におよぶ時間の経過が必要だ。人類が地上に現れて三〇〇万、五〇〇万年。実に人類の歴史にも匹敵する。

悠久の時に挑む

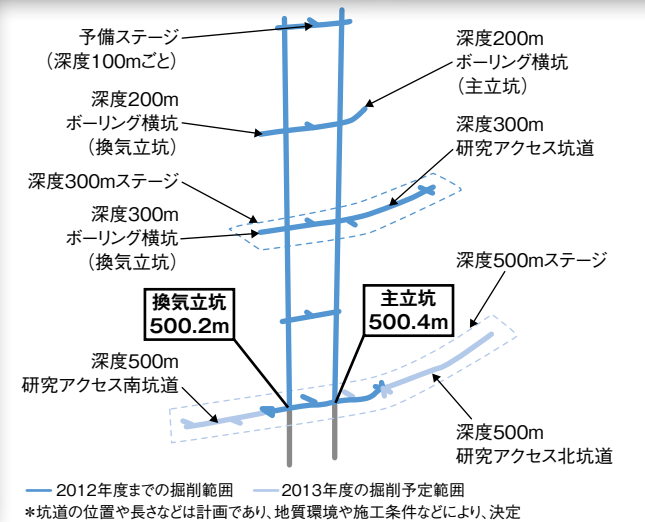
なかなか地層処分には難しい課題が山積している。放射性廃棄物を幾重にも閉じ込めるとはいえ、地下には水が流れている。だから地下深くに埋設するにあたっては、遠い未来にわたって水の流れを予測しなくてはならない。流体は、圧力勾配があって初めて流動する。流路には摩擦、圧力損失もあるので、深い岩盤では水は極めて移動しにくい。もともとは地表に降った雨が岩盤中にしみこむが、深部の水は数千年前のものだったりする。しかし、水の移動は必ず起きていて、一〇〇万年という時間は、地下深部の水は移動しにくいという期待を裏切るのに十分な長さだ。

東日本大震災のとき、想定外、未曾有の一〇〇年に一度かと言われた。しかし、地殻は一〇億年に一万kmの規模で移動する。大陸移動である。一〇〇万年に換算すると一〇km。その規模の地殻変動は、客観的に見れば起こりうるのである。安定な岩盤がそのままだと一〇km平行移動するなら問題はないのだが、少なくとも岩盤を揉むことにつながり、水の移動を不安定に変動させる要因になるだろう。

後世の人類が、地層処分された廃棄物に不用意にアクセスする危険も少なくない。どこにどう埋設したのか、記録を後世にどのように残すのか。まさに、ロゼッタストーンか高句麗の碑文のような手段が必要になる。



瑞浪超深地層研究所。主に花崗岩を対象として、岩盤の強さ、地下水の流れや水質を調べるとともに、実際に地下に研究坑道を掘削。地表から推定した地下の様子が正しいか、また掘削が深地層の岩盤や地下水に与える影響やその変化を調査している。最終的に深度1000mまで掘るそうで、現在は500mまで掘り進め、研究のための水平坑道を掘削中。案内いただいたのは深度300mの研究アクセス坑道で、円筒型の鳥かごのような工事用エレベータで地下へ下りた。



と言っても、伝えなくてはいけない時間の長さは、人類がこれまで歴史としてみていた長さをはるかに超える。宇宙空間に投棄。それも方法だ。太陽系の地球より内側を回る空間に、人類が航海に出る可能性はごくごく少ない。しかも軌道の安定性は、地殻や岩盤のそれよりもはるかに高い。しかし埋設と五十歩百歩ではある。小惑星イトカワは生まれて一億年。表面には非常に少ないといえ、クレーターがあり、またレゴリスという砂礫がある部分が覆う。レゴリスは、イトカワに衝突した隕石によってできた速度の遅い粉塵が吹き溜まったもの。一〇万年、一〇〇万年といった長さは、そんな無数の細かい隕石との衝突をも考慮した設計を要求することになるからだ。

三〇〇年という現実的な解

福島さんのお考えは、もっと現実的だった。管理としては、三〇〇年くらいしか期待できないだろう。後世の人が後始末の作業を行うにしても、それを任務として行えるのは、また認識やモラルを風化せずに行えるのは、そのくらいではないか、と彼は言う。地層処分に先がけて、まず再処理を行い、燃料サイクルを回すことで、高レベル放射性廃棄物の減容を図るべきだ。その後は、たとえ後世でメンテナンスが顧みられなくなっても、そして水に溶け出すことがあっても、移動速度が遅ければ、後世の人々に与える影響は十分小さくできるのだ、と。

日本における地層処分研究は、原子力発電の開始(70年)間もない76年に開始。ほかに海洋処分や氷床処分も検討されていたが、これらはのちに国際条約で禁止。宇宙に放出する方法も、コスト高と打ち上げ成功に不確実性が残るため除外。地層処分は世界で主流の処分方法であり、各国で実施計画が具体的に進められている。フィンランドなどは使用済燃料を直接埋めるが、日本は再処理を行い、ガラス固化体にした高レベル放射性廃棄物を鉄製容器に入れ粘土で覆って地下300m以深に埋める方法を採用。



絶対的な処分を永遠に行うことは難しいが、プラクティカルにはソリューションが存在するはずというのが彼の意見だった。

宇宙開発も似た状況に追い込まれることは多い。全てのリスクを排除することは、人知は及ばないので不可能だ。リスク管理とは、リスクをゼロにすることではなく、リスク影響を最小限にとどめることにある。

太陽系大航海時代の原子力

人類が原子力という現代の火を手にして、僅か数十年にすぎない。今、人類は、太陽系を自在に駆け巡る「太陽系大航海時代」を迎えんとしている。木星以遠では、太陽電池は用をなさない。地上では原子力云々が取りざたされるが、実は原子力は、宇宙航行のためこそその動力源なのだ。宇宙での動力革命は目前にある。宇宙という空間には、途方もない時間スケールでの手段、時空をまたぐ対応が必要だ。使用済みの宇宙船原子炉の廃棄は、地層処分や宇宙空間への投棄とストレートにつながる課題である。

時空のスケールからみれば、人生のスケールは極めて短い。一〇〇年間続く会社は稀である。電力会社もしかり。会社が、その形態のままで唱えられることは、創業時の意識を化石のごとく持ち続けるだけだと言ってよい。人間社会は、かくもコンサバティブ(保守的)なものであり、また人間意識も、思い込みからなかなか脱しえな

いものなのである。地上で展開されている原子力云々の議論は、目先という時間スケールの話であり、悠久の時空の中ではソリューションには結びつきにくい。

安定供給とコスト低減へのグローバル化

発電というエネルギー確保は、まさに一〇〇年ちょっと前の黎明期には、個別の会社や地域ごとの分散型だったという。やがて安定供給とコスト低減をめざして集約化と大型化が進み、電力会社が登場する。そして安定供給とコストの低減をめざす上で、原子の火が手に入った。

将来のエネルギー源は、多くの人が述べるように、自然エネルギーに代わることもありうるだろう。そんな不安定なエネルギー源でどうする、という意見も多いかもしれない。地域や季節、日によって変動するじゃないか。でも、地球全体が受けるエネルギーは、実は平均化されていて安定なのである。空間的にだけではない。時間的に見ても、少なくとも人類という種の存在するくらいの時間スケールでは、日本全国がどこも曇りか雨ということとはありえないくらい少ない。いや、日本の国土が狭いだけだ。南北両半球をあわせて、どこも曇りか雨ということとはありえないのだ。

かつて町村単位で個別発電していた時代から地域電力会社が生まれたように、再生可能エネルギーも地域単位から国単位、国家間、あるいはグローバルに調達する時代へと変わっていくだろう。不安定な小川の水力発電か



◀▼広域地下水流動研究としてボーリング孔を用いて地上から水圧や水質の観測も続けている



瑞浪の地上設備。防音ハウス(写真上)内には立坑掘削のための槽設備(下右)があり、隣接の建屋には掘削用巻上設備(下左)があった。構内には排水処理設備(左)も設けられている。また東濃地科学センターでは、数km～数十km四方の範囲の地下水流動を対象とした広域地下水流動研究もっており、ボーリング調査などのデータを用いて地下水の流れを解析している。



▶左から東濃地科学センター地域交流課の小澤浩二さん、同課主査の龍頭恵吾さん、福島龍朗さん



ら転換されたように、安定供給とコスト低減をめざす方向は、より大きな形態へと変貌を遂げていくに違いない。

そして新たなソリューションへ

人間のものの見方は、常に保守的だ。コンサバティブだと書いた。ごく近い時間幅から、外挿して考えようとする。宇宙に出かけるには、ロケットでこそか？ それは、たまたまこの時代を生きた人の持つ幻想である。やがて大陸間を超高速で結ぶ輸送手段が現れ、それに代わっていく。東京―ロサンゼルスを二時間で結ぶ、高度三〇〇四〇kmを音速の数倍で飛ぶ輸送機。上を見れば宇宙空間が、下を見れば青い地球が広がる。誰しもが宇宙飛行をしているのと同じ状態がそこにある。

エネルギーと同じこと。今、生きている世代がエネルギーに持つイメージは、思い込み、固定観念でしかない。かつて、いや、現代ですら、石油を巡って紛争さえ起きる。しかし現代では石炭を争っての侵略戦争が起きることはなくなっている。それどころか、荒野の、かつては見向きもされなかった塩湖が、リチウム電池やレアメタルの対象として、熱い視線を集めている。やがて新たなエネルギー源が現れることは確実だ。政府が、現在のエネルギー源でという思考から方策を見つけようとするなら、それは誤解なのだと思う。

原子力にはどう向き合うのか？ グローバルなソリューションが合意、提携されるまでには、いろいろ紆余曲折もあるに違いない。個別の国家の繁栄を願うことから戦渦が起きてしまう。仕方がないことではあるが、究極のソリューションがあると認識しつつも、自然エネルギー一辺倒のユートピアだけを志向するわけにもいかない。だからかもしれない。当面のエネルギー源を、時限でも原子力に負う部分が出てくるかもしれない。その処分には地層処分があるかもしれない。しかし、混乱の時代だからこそ、新たなソリューションを志向し、わが国は、そのポテンシャルをもって、次の革新技术に取り組むことが必須なのだと思う。

イエスキリスト。彼は貧困な中東で生まれ、そして宗教が生まれた。苦しい時代にこそ、救世主が必要である。それは人類が常に求めてきた、オルタナティブ(代替)を追求する考え方であるはずだ。未来への飛躍は、決して外挿や現世の延長ではなからう。

川口淳一郎 かわぐちじゅんいちろう
JAXA 宇宙科学研究所教授シニアフェロー
1955年青森県生まれ。京都大学工学部機械工学科卒、東京大学大学院工学系研究科航空学専攻博士課程修了。旧文部省宇宙科学研究所助手、助教授を経て、2000年教授。ハレー彗星探査機「さきがけ」「すいせい」、火星探査機「のぞみ」、ソーラー電力セイル「IKAROS」などの科学衛星ミッションに携わり、小型探査機「はやぶさ」ではプロジェクトマネジャーを務めた。2014年打ち上げ予定の「はやぶさ2」のアドバイザーとしても活動。